

Studi Penyetelan Relay Arus Lebih (OCR) pada Gardu Induk Teluk Lembu Pekanbaru

Engla Pafela*, Eddi Hamdani**

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: engla.pafela@gmail.com

ABSTRAT

This study aimed to obtain the optimal setting and should be of 60 MVA at bay transformer protection system at the substation/switch yard Teluk Lembu Pekanbaru. This study uses observation, that determines which objects will be studied to evaluate the coordination of the relay in the transformer of 60 MVA substation Teluk Lembu Pekanbaru. With the data obtained as a diagram of the distribution network of the line (SUTM) substation Teluk Lembu Pekanbaru along with CB data, the transformers, relay specification OCR and resetting existing conditions relay, and additional data that support for this thesis as load data and daily etc. From the calculation results with existing data in the field is still in appropriate conditions (the difference is not too much), so it can be concluded that the overall arrangement of OCR in the field is still in good condition. OCR for relay settings in the feeder has about the same value at which the TMS for OCR each 0,2s in calculations and in the field to OCR, , but there relay settings no longer appropriate that the relay settings on the side of the entrance, where TMS = 0,37s in other words if there is a short circuit fault then the relay will take a long time to work. So setting relay OCR incoming side that is in the field must be set back.

Keyword : Setting Protection Relay, OCR (Over Current Relay)

I. PENDAHULUAN

Jaringan SUTM bisa ditarik sepanjang puluhan sampai ratusan km dan biasanya ada diluar kota besar. Seperti diketahui , apalagi di Indonesia, jaringan dengan konduktor telanjang yang digelar di udara bebas banyak mengandung resiko terjadi gangguan hubung singkat fasa-fasa atau satu fasa-tanah

Khususnya di gardu induk Teluk Lembu menggunakan 3 x 60 MVA buah trafo daya yang menyuplai beberapa penyulang. Oleh sebab itu diperlukan penyetelan relai yang baik agar relai dapat memproteksi peralatan- peralatan listrik yang lain dari arus

gangguan hubung singkat maupun beban lebih. Besarnya arus gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi didalam suatu system kelistrikan perlu diketahui sebelum gangguan yang sesungguhnya terjadi. Hal ini biasanya dipakai dalam perencanaan peralatan instalasi tenaga.

Untuk keperluan penyetelan relai proteksi, arus gangguan yang dihitung tidak hanya pada titik gangguan saja, Untuk itu di perlukan cara menghitung arus gangguan hubung singkat yang dapat segera membantu dalam perhitungan penyetelan dan peroteksi.

Berdasarkan hal tersebut penulis mencoba untuk menulis skripsi yang berjudul *Studi Penyetelan Relay Arus Lebih pada Gardu Induk Teluk Lembu*.

Relay arus lebih atau yang lebih dikenal dengan OCR (Over Current Relay) merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau overload yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya.

Relay arus lebih ini dapat digunakan hampir pada seluruh pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut relay ini dapat digunakan sebagai pengamanan utama ataupun pengamanan cadangan.

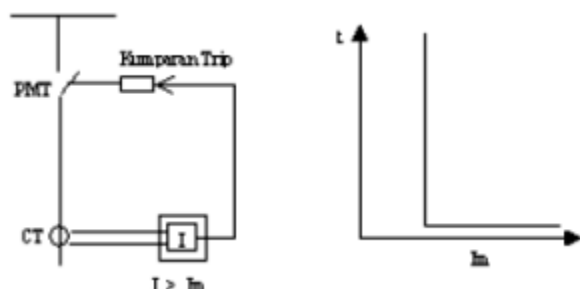
Pada transformator tenaga, OCR berfungsi sebagai pengamanan cadangan (back up protection).

untuk gangguan eksternal atau sebagai back up bagi outgoing feeder, OCR dapat dipasang pada sisi ketegangan tinggi saja, atau pada sisi tegangan menengah saja, atau pada sisi tegangan tinggi dan tegangan menengah sekaligus.

Selanjutnya OCR dapat menjatuhkan PMT di kedua sisi transformator tenaga. OCR jenis definite time ataupun inverse time dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap arus lebih.

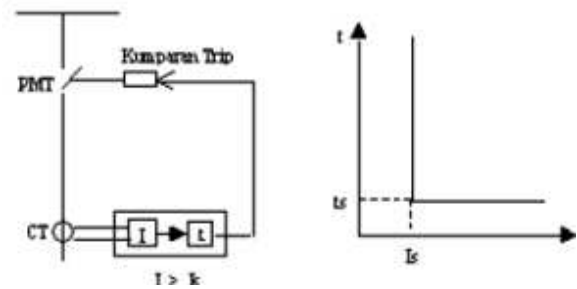
Jenis Relay Berdasarkan Karakteristik Waktu

1. Relay arus lebih sesaat (instantaneous)



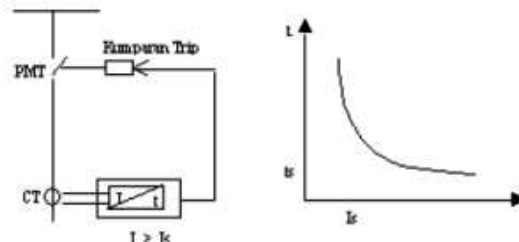
Gambar 1. Karakteristik Waktu Seketika (Instantaneous)

2. Relay arus lebih definite (definite time)



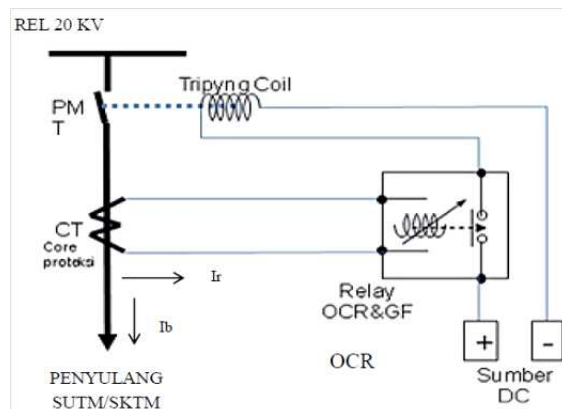
Gambar 2. Karakteristik Waktu tertentu (Definite)

3. Relay arus lebih inverse (inverse time)



Gambar 3. Karakteristik Waktu Terbalik (Inverse)

Prinsip kerja relay OCR adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan relay, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau overload (beban lebih) untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya.



Gambar 4. Rangkaian Pengawatan OCR

Gangguan hubungan singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan (Sistem kelistrikan) yaitu:

1. Gangguan hubungan singkat tiga fasa
2. Gangguan hubungan singkat dua fasa
3. Gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah

2. Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik

2.a.1 Pengertian Sistem Proteksi

Secara umum pengertian sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan pengaluran tenaga listrik dapat dipertahankan.

Sistem proteksi penyulangan tegangan menengah ialah pengamanan yang terdapat pada sel-sel tegangan di Gardu Induk dan pengamanan yang terdapat pada jaringan tegangan menengah. Penyulang.

Penyulang tegangan menengah ialah penyulang tenaga listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik tegangan menengah (150 KV – 20 KV), yang terdiri dari :

- Saluran udara tegangan menengah (SUTM)
- Saluran kabel tegangan menengah (SKTM)

2.a.2 Tujuan Sistem Proteksi

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik hamper seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat, yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Semakin besar sistem distribusi tenaga listrik semakin besar arus gangguannya. Arus yang besar bila tidak segera dihilangkan akan merusak peralatan yang dilalui arus gangguan tersebut. Untuk melepaskan atau menghentikan saat terjadi gangguan maka diperlukan suatu sistem proteksi, yang pada dasarnya adalah alat pengamanan yang bertujuan untuk melepaskan atau membuka sistem yang sedang terganggu, sehingga arus gangguan ini akan padam.

Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain :

- Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
- Untuk melokalisasi daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.

- Untuk dapat memberikan pelayanan suplai listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen serta memperkecil bahaya terhadap pengguna listrik.

Persyaratan Sistem Proteksi

Tujuan utama sistem proteksi adalah :

- Mendeteksi kondisi abnormal (gangguan).
- Mengisolir peralatan yang terganggu dari sistem.

Persyaratan yang terpenting dari sistem proteksi, yaitu :

A. Kepekaan (Sensitivity)

Pada prinsipnya relai harus peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya, termasuk kawasan pengamanan cadangan-jauhnya, meskipun dalam kondisi yang memberikan deviasi yang minimum.

Untuk relai arus-lebih hubung-singkat yang bertugas pula sebagai pengamanan cadangan jauh bagi seksi berikutnya, relai itu harus dapat mendeteksi arus gangguan hubung singkat antar fasa yang terjadi diujung akhir seksi berikutnya dalam kondisi pembangkitan minimum.

Sebagai pengamanan peralatan seperti motor, generator atau trafo daya, relai yang peka dapat mendeteksi gangguan pada tingkatan yang masih dini sehingga dapat membatasi kerusakan. Bagi peralatan seperti tersebut diatas hal ini sangat penting karena jika gangguan itu sampai merusak besi laminasi stator atau inti trafo, maka perbaikannya akan sangat besar dan mahal.

Sebagai pengamanan gangguan arus lebih pada saluran distribusi, relay yang kurang peka menyebabkan akan banyak terjadi gangguan pada saluran transmisi di Gardu Induk. Akibatnya, busur api akan timbul berlangsung lama dan dapat menyambar ke fasa lain, maka relai hubung-singkat (OCR) yang akan bekerja.

Gangguan sedemikian bisa terjadi berulang kali di tempat yang sama yang dapat mengakibatkan kawat cepat putus. Sebaliknya, jika terlalu peka relai akan terlalu sering trip untuk gangguan yang

sangat kecil yang mungkin bisa hilang sendiri atau risikonya dapat diabaikan atau dapat diterima.

B. Keandalan (Reliability)

Ada 3 aspek :

1. Dependability

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (Keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal bekerja. Dengan istilah lain yakni dependability-nya harus tinggi.

2. Security

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah bekerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan diluar kawasan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Salah dalam memproteksi mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah kerja, dengan kata lain security-nya harus tinggi.

3. Availability

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya.

Dengan relai elektromekanis, jika rusak/tak berfungsi, tidak diketahui segera, baru diketahui dan diperbaiki atau diganti. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sirkit trip, sirkit skunder arus, dan sirkit skunder tegangan yang akan memberikan alarm sehingga bisa diperbaiki, sebelum kegagalan proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya terjadi. Jadi availability dan keadaluannya tinggi.

4. Selectifitas (Selectivity)

Pengamanan harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi atau peralatan yang terganggu saja yang termasuk dalam kawasan pengamanan utamanya. Pengamanan sedemikian termasuk disebut pengaman yang selektif.

Jadi relai harus dapat membedakan, apakah :

- Gangguan terletak dikawasan pengamanan utama dimana ia harus bekerja dengan cepat.
- Gangguan terletak di seksi berikutnya dimana harus bekerja dengan waktu tunda (sebagai pengaman cadangan) atau menahan diri untuk tidak trip.
- Gangguannya diluar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan, dimana relai tersebut tidak harus bekerja sama sekali.

Untuk itu relai-relai yang didalam sistem terletak secara seri, dikoordinir dengan mengatur peningkatan waktu (time grading) atau peningkatan setting arus (current grading), atau gabungan dari keduanya.

Untuk itulah relai dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik relai yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan setting relai yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik diperoleh.

Pengaman utama yang memerlukan kepekaan dan kecepatan yang tinggi, seperti pengaman transformator tenaga, generator dan busbar pada sistem tegangan ekstra tinggi (TET) dibuat berdasarkan prinsip kerja yang mempunyai kawasan pengamanan yang batasnya sangat jelas dan pasti, dan tidak sensitive terhadap gangguan diluar kawasannya, sehingga sangat selektif, tetapi tidak bisa memberikan pengaman cadangan bagi seksi berikutnya, sebagai contoh pengaman differensial.

5. Kecepatan (Speed)

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin

dari bagian sistem lainnya. Waktu total pembahasan sistem dari gangguan adalah waktu jarak sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya.

Kecepatan itu Penting Untuk :

- Menghindari kerusakan secara thermos pada peralatan yang dilalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu.
- Mempertahankan kestabilan sistem.
- Membatasi ionisasi (busur api) pada gangguan disaluran udara yang akan berarti memperbesar kemungkinan berhasilnya penutupan balik PMT (reclosing) dan mempersingkat dead timenya (interval waktu antara buka dan tutup).
- Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa diberi waktu tunda (td) namun waktu tunda tersebut harus sesingkat mungkin (seperlunya saja) dengan memperhitungkan resikonya.

C. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubungan singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan (Sistem kelistrikan) yaitu :

1. Gangguan hubungan singkat tiga fasa
2. Gangguan hubungan singkat dua fasa
3. Gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah

Semua gangguan hubung singkat diatas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z (A)

V = Tegangan Sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi didalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (ohm)

Yang membedakan antara gangguan hubungan singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gagguan itu sendiri, dan tegangan yang memasok arus ke titik gagguan.

Impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut ini :

$$Z \text{ untuk ganggaun tiga fasa, } Z = Z_1$$

$$Z \text{ untuk gangguan dua fasa, } Z = Z_1 + Z_2$$

$$Z \text{ untuk gangguan satu fasa, } Z = Z_1 + Z_2 + Z_0 \dots\dots(2.2)$$

a) Impedansi sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sis bus 20 KV, maka harus dihitung dulu impedansi sumber di bus 150 KV. Impedansi sumber di bus 150 KV diperoleh dengan rumus :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

Xs = Impedansi sumber (ohm)

kV² = Tegangan sisi primer trafo tenaga (KV)

MVA = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

b. Impedansi transformator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahananannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk

mencari nilai reaktansi trafo dalam Ohm dihitung dengan cara sebagai berikut :

Langkah pertama mencari nilai ohm pada 100% untuk trafo pada 20 kV, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

X_t = Impedansi trafo tenaga (ohm)

kV^2 = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

A. Prinsip dasar perhitungan penyetelan arus

Untuk Perhitungan setting rele dan parameter apa saja yang perlu dicari (WECC, 1989). Rele Arus Lebih (OCR)

a. Arus Nominal

Arus nominal adalah arus kerja dari suatu peralatan listrik.

$$I_n = I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3}V_{base}} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan :

$I_n = I_{base}$ = Arus nominal (A)

S_{base} = Daya semu (VA)

V_{base} = Tegangan (V)

b. Rasio CT

Rasio CT ditentukan dari arus nominal peralatan atau dari kabel pada umumnya.

$$\text{Rasio CT} = \frac{\text{Primer}}{\text{Skunder}} \dots\dots\dots(2.17)$$

c. Arus yang mengalir melalui Rele

$$I_{rele} = I_{base} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots\dots\dots(2.18)$$

d. Arus kerja rele (Standar OCR 110%)

$$I_{setOCR} = 1.1 \times I_{base} \dots\dots\dots(2.19)$$

e. Waktu operasi (ts)

Time Setting (ts) adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu pengamanan (rele) untuk bekerja.

$$T_s = \frac{K}{(I_{setOCR})^{0.1}} \times TMS \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan :

TMS (*TimeMultiple Setting*) = Standar waktu setting rele

K = konstanta standar invers (0.14)

α = konstanta standar invers (0.02)

4.1.1. Menghitung Impedansi Sumber

Data Hubung Singkat di bus sisi primer (150 KV) di Gardu Induk Teluk Lembu adalah 2.605 MVA. Maka impedansi sumber (X_s) adalah :
MVA hubung singkat =

$$\begin{aligned} & \times (150 \text{ kV} \times \sqrt{3}) = 10 \text{ kA} \times (150 \text{ kV} \times \sqrt{3}) \\ & = 2,605 \text{ MVA} \end{aligned}$$

Nilai diatas merupakan data hubung singkat di bus sisi primer (150 KV) di gardu induk.

$$\begin{aligned} & X_S \text{ (sisi 150 kV)} \\ & = \frac{kV \text{ (sisi primer trafo)}^2}{MVA \text{ hubung singkat di bus sisi primer}} \end{aligned}$$

$$X_s(\text{sisi 150 kv}) = \frac{150^2}{2,605} = 8.63 \text{ ohm}$$

Untuk mengetahui impedansi di sisi sekunder, yaitu di bus sisi 20 KV maka:

$$X_{S(sisi\ 20\ kV)} = \frac{kV(sisi\ skunder\ trafo)^2}{kV(sisi\ primer\ trafo)^2} \times X_{S(sisi\ primer)Ohm}$$

$$X_{s(sisi\ 20\ kv)} = \frac{20^2}{150^2} \times 2,605 \\ = 0.046\ ohm$$

4.1.2. Menghitung Reaktansi

Transformator

Besarnya reaktansi transformator_1 di GI Teluk Lembu adalah :

$$X_{t(pada\ 100\%)} = \frac{kV^2 sisi\ bus\ 2}{MVA\ trafo} \\ X_{t(pada\ 100\%)} = \frac{20^2}{60} = 6.666\ ohm$$

Nilai reaktansi transformator tenaga :

- Reaktansi urutan positif dan negative ($X_{t1} = X_{t2}$)
 $X_t = 11.82\% \times 6.666 = 0.787\ ohm$
- Reaktansi urutan nol (X_{t0})
Karena transformator daya ini memiliki belitan YNYn0 yang tidak mempunyai belitan delta didalamnya, maka besaran X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14 x X_{t1} , perhitungan diambil nilai X_{t0} lebih kurang 10 x X_{t1} . Jadi $X_{t0} = 10 \times 0,787 = 7.87\ ohm$.

4.1.3. Menghitung Impedansi Penyulang

Dari data yang diperoleh bahwa jenis penghantar yang digunakan pada penyulang-penyulangnya hanya menggunakan satu tipe kabel yaitu XLPE 240 mm². Panjang penyulang 6,000 km, dan panjang penghantar XLPE 240 mm² = 6,032.

$$Z_1 = Z_2\ (XLPE\ 240) = (0,125 + j\ 0.097)ohm/km \times 6,032 = 0,753 + j\ 0,584ohm$$

$$Z_0 = (XLPE\ 240) = (0,275 + j\ 0,029)\ ohm / km \times 6,032 = 1,658 + j\ 0.145ohm$$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang-penyulang untuk lokasi gangguan dengan jarak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulangnya sebagai berikut :

- Urutan positif dan negatif

Tabel 4.1 Impedansi penyulang urutan positif & negatif

(%Panjang)	Impedansi Penyulang (Z_1 & Z_2)
0	0 % . (0.753 + j 0.584) = 0 Ohm
25	25% . (0.753 + j 0.584) = 0.188 + j 0.145 ohm
50	50% . (0.753 + j 0.584) = 0.376 + j 0.291 ohm
75	75% . (0.753 + j 0.584) = 0.564 + j 0.437 ohm
100	100% . (0.753 + j 0.584) = 0.753 + j 0.583 ohm

- Urutan Nol

Tabel 4.2 Impedansi penyulang urutan nol

(%Panjang)	Impedansi Penyulang (Z_0)
0	$0\% \cdot (1.658 + j 0.174) = 0 \text{ ohm}$
25	$25\% \cdot (1.658 + j 0.174) = 0.414 + j 0.043 \text{ ohm}$
50	$50\% \cdot (1.658 + j 0.174) = 0.828 + j 0.086 \text{ ohm}$
75	$75\% \cdot (1.658 + j 0.174) = 1.243 + j 0.130 \text{ ohm}$
100	$100\% \cdot (1.658 + j 0.174) = 1.658 + j 0.173 \text{ ohm}$

4.1.4. Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Jaringan

Perhitungan $Z_{1eq} = Z_{2eq}$

$$= Z_s (\text{sisi } 20\text{kV}) + Z_T + Z_1 \text{ penyulang}$$

$$= j0.046 + j0.787 + Z_1 \text{ Penyulang}$$

$$= j0.833 + Z_1 \text{ Penyulang}$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, maka Z_{1eq} (Z_{2eq}) yang dapat adalah :

Tabel 4.3 Impedansi ekuivalen jaringan urutan positif

(%Panjang)	Impedansi Z_{1eq} (Z_{2eq})
0	$0 + j0.833 \text{ ohm}$
25	$j0.833 + 0.188 + j 0.145 \text{ ohm} = 0.188 + j0.978 \text{ ohm}$
50	$j0.833 + 0.376 + j 0.291 \text{ ohm} = 0.376 + j1.124 \text{ ohm}$
75	$j0.833 + 0.564 + j 0.437$

	$\text{ohm} = 0.564 + j1.270 \text{ ohm}$
100	$j0.833 + 0.753 + j 0.583 \text{ ohm} = 0.753 + j1.416 \text{ ohm}$

4.1.5. Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Jaringan

Perhitungan Z_{0eq}

$$= Z_{0t} + 3R_N + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$= j7.87 + 3 \times 12 + Z_0 \text{ Penyulang}$$

$$= j7.87 + 36 + Z_0 \text{ Penyulang}$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, maka Z_{0eq} yang dapat adalah :

Tabel 4.4 Impedansi ekuivalen urutan nol

(%Panjang)	Impedansi Z_{1eq} (Z_{2eq})
0	$36 + j7.87 \text{ ohm}$
25	$j7.87 + 36 + 0.414 + j 0.043 \text{ ohm} = 36.414 + j7.913$
50	$j7.87 + 36 + 0.828 + j 0.086 \text{ ohm} = 36.828 + j7.956$
75	$j7.87 + 36 + 1.243 + j 0.130 \text{ ohm} = 37.243 + j8.000$
100	$j7.87 + 36 + 1.658 + j 0.173 \text{ ohm} = 37.658 + j8.043$

- Gangguan hubung singkat 3 fasa

Rumus dasar yang digunakan untuk menghubungkan besarnya arus gangguan hubung singkat 3 fasa, adalah :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana :

I = Arus gangguan 3 fasa

$$V = \text{Tegangan fasa - netral sistem } 20 \text{ kV} \\ = \frac{20000}{\sqrt{3}} = V_{ph}$$

Z = Impedansi urutan positif

Sehingga arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{3 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq}} = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{Z_{1eq}} = \frac{11547}{Z_{1eq}}$$

Table 4.5 Arus gangguan hubung singkat 3 fasa

(% Panjang)	Arus gangguan hubung singkat 3 fasa
0	$\frac{11547}{0 + j0.833} = \frac{11547}{\sqrt{0^2 + 0.833^2}} = 13861 \text{ A}$
25	$\frac{11547}{0.188 + j0.978} = \frac{11547}{\sqrt{0.188^2 + 0.978^2}} = 11594.4 \text{ A}$
50	$\frac{11547}{0.376 + j0.1124} = \frac{11547}{\sqrt{0.376^2 + 1.124^2}} = 9742.47 \text{ A}$
75	$\frac{11547}{0.564 + j1.270} = \frac{11547}{\sqrt{0.564^2 + 1.270^2}} = 8309.56 \text{ A}$

100	$\frac{11547}{0.753 + j1.416} = \frac{11547}{\sqrt{0.753^2 + 1.416^2}} = 7090.69 \text{ A}$
-----	---------------------------------------------------------------------------------------------

- **Gangguan hubung singkat 2 fasa**

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat 2 fasa, adalah :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana :

I = Arus gangguan hubung singkat 3 fasa

$$V = \text{Tegangan fasa - fasa sistem } 20 \text{ kV} = \frac{20000}{\sqrt{3}} = V_{ph}$$

Z = Jumlah impedansi urutan positif (Z_{1eq}) dan urutan negative (Z_{2eq})

Sehingga arus gangguan hubung singkat 2 fasa dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{2 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} - Z_{2eq}} = \frac{20000}{Z_{1eq} + Z_{2eq}}$$

Seperti halnya gangguan 3 fasa, Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa juga dihitung untuk lokasi gangguan yang diasumsikan terjadi pada 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang. Dalam hal ini dianggap nilai $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, sehingga persamaan arus hubung singkat 2 fasa diatas dapat disederhanakan menjadi :

$$I_{2 \text{ fasa}} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}}$$

Dan nilai arus gangguan hubung singkat sesuai lokasi gangguan dapat dihitung :

Table 4.6 Arus gangguan hubung singkat 2 fasa

(% Panjang)	Arus gangguan hubung singkat 2 fasa
0	$\frac{20000}{2 \times (0 + j0.833)} = \frac{20000}{\sqrt{0^2 + 1.666^2}}$ $= 12004 \text{ A}$
25	$\frac{20000}{2 \times (0.188 + j0.978)}$ $= \frac{20000}{\sqrt{0.376^2 + 1.956^2}}$ $= 10041.11 \text{ A}$
50	$\frac{20000}{2 \times (0.376 + j1.124)}$ $= \frac{20000}{\sqrt{0.752^2 + 2.248^2}}$ $= 9543.91 \text{ A}$
75	$\frac{20000}{2 \times (0.564 + j1.270)}$ $= \frac{20000}{\sqrt{1.128^2 + 2.540^2}}$ $= 7196.30 \text{ A}$
100	$\frac{20000}{2 \times (0.753 + j1.416)}$ $= \frac{20000}{\sqrt{1.506^2 + 2.832^2}}$ $= 6235.32 \text{ A}$

Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat ini, (3 Fasa, 2 Fasa), dapat digunakan sebagai penyetelan Relai Arus Lebih.

Maka dapat dibuat suatu perbandingan besarnya arus gangguan terhadap gangguan (lokasi gangguan pada penyulang yang dinyatakan dalam %) dengan menggunakan tabel berikut ini.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat

Panjang Penyulang (%)	Jarak	Arus Hubung Singkat (A)	
		3 Fasa	2 Fasa
0	0	13861	12004
25	1,508	11594,4	10041,11
50	3,016	9742,47	9543,91
75	4,524	8309,56	7196,30
100	6,032	7090,69	6235,32

4.1.6. Setelan relai OCR di sisi penyulang 20 kV

- **Setelan Relai Arus Lebih (OCR)**

Untuk setelan relai yang terpasang di penyulang dihitung berdasarkan arus beban maksimum.

Untuk relai *Inverse* biasa di set sebesar 1,05 sampai dengan 1,1 x Imaksimal, sedangkan untuk relai *Definite* di set sebesar 1,2 sampai 1,3 x Imaksimal. Persyaratan lain yang harus dipenuhi yaitu untuk penyetelan waktu minimum dari relai arus lebih (terutama di penyulang tidak lebih kecil dari 0,3sec). Keputusan ini diambil agar relai tidak sampai *trip* lagi akibat adanya arus *Inrush* dari transformator yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut dimasukkan.

Setelan Arus

Ibeban = 310 Ampere, CT = 300/5

$$I_{set}(\text{primer}) = 1,1 \times I_{\text{nominal CT}}$$

$$= 1,1 \times 310 \text{ Ampere}$$

$$= 341 \text{ A}$$

Perhitungan nilai arus tersebut merupakan nilai setelan pada sisi primer,

sedangkan nilai yang akan disetkan pada relai adalah nilai sekundernya. Oleh karena itu, perhitungan menggunakan nilai rasio trafo arus yang terpasang pada penyulang.

Besarnya arus pada sisi sekundernya adalah:

Iset (sekunder)

$$= Iset (primer) \times \frac{1}{Ratio CT} \text{ Ampere}$$

$$= 341 \times \frac{5}{300} \text{ Ampere}$$

$$= 5,68 \text{ Ampere, dibulatkan 6 Ampere}$$

- **Setelan TMS (*Time Multiplier Setting*)**

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS relay OCR sisi penyulang 20 kV pada transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang. Waktu kerja paling hilir yang ditetapkan $t = 0,3 \text{ sec}$.

Keputusan ini diambil agar relai tidak trip lagi akibat adanya arus *Inrush* dari transformator distribusi yang sudah tersambung di jaringan distribusi, pada saat PMT penyulang tersebut dimasukkan.

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left(\frac{13861 A}{325,5 A}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$Tms = 0,376 \text{ s}$$

4.1.7. Setelan relai OCR sisi Incoming 20 kV

- **Setelan relai OCR**

Penentuan setelan relai arus rebih (OCR) pada sisi Incoming 20 kV trafo tenaga, sama halnya dengan di penyulang, yaitu

harus diketahui terlebih dahulu nilai arus nominal trafo tenaga tersebut.

Dari data yang diperoleh

$$\text{Kapasitas} = 60 \text{ MVA}$$

$$\text{Tegangan} = 150/20 \text{ kV}$$

$$\text{Impedansi} = 11,82 \%$$

$$\text{CT rasio} = 2000/5 \text{ A (pada sisi incoming 20 kV)}$$

Setelan Arus

Arus nominal trafo pada sisi 20 kV :

$$\begin{aligned} In (\text{sisi 20 kV}) &= \frac{kVA}{kV \sqrt{3}} \\ &= \frac{60000}{20 \sqrt{3}} \end{aligned}$$

$$= 1732 \text{ Ampere}$$

Nilai setelan pada sisi Primer trafo :

$$\begin{aligned} Iset \text{ primer} &= 1,1 \times I \text{ trafo} \\ &= 1,1 \times 1732 \text{ A} \\ &= 1905,2 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Nilai setelan pada sisi sekunder :

Isekunder

$$\begin{aligned} &= Iset (primer) \cdot \frac{1}{Ratio CT} \\ &= 1905,2 \times \frac{5}{2000} \\ &= 4,763 \text{ Ampere} \\ &= 5 \text{ Ampere (dibulatkan 5 A)} \end{aligned}$$

- **Setelan TMS (*Time Multiplier Setting*)**

Arus gangguan yang dipilih untuk menentukan besarnya setting TMS (*Time Multiplier Setting*) pada relai OCR sisi incoming 20 kV pada transformator tenaga yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa di 0% panjang penyulang. Waktu kerja incoming didapat dengan waktu kerja relai disisi hilir + 0,4 detik.

$$T_{\text{Incoming}} = (0,3 + 0,4) = 0,7 \text{ detik}$$

Jadi didapat :

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$0,7 = \frac{0,14}{\left(\frac{13861 \text{ A}}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$Tms = 0,202 \text{ s}$$

4.1.8. Waktu kerja relai OCR pada gangguan 3 fasa

Karena nilai arus gangguan hubung singkat yang didapat dari hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah dalam nilai arus primer, maka dalam pemeriksaan selektifitas nilai arus primer nya juga diambil, berikut :

Untuk lokasi gangguan pada jarak 0% panjang penyulang, adalah :

Sisi Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{13861 \text{ A}}{341 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1} 0,376$$

$$Tms = 0,6 \text{ detik}$$

Sisi Incoming 20 kV

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{13861 \text{ A}}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} 0,202$$

$$Tms = 0,7 \text{ detik}$$

Untuk lokasi gangguan pada jarak 25% panjang penyulang, adalah :

Sisi Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{11594,4 \text{ A}}{341 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1} 0,376$$

$$Tms = 0,721 \text{ detik}$$

Sisi Incoming 20 kV

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{11594,4 \text{ A}}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} 0,202$$

$$Tms = 0,769 \text{ detik}$$

Untuk lokasi gangguan pada jarak 50% panjang penyulang, adalah :

Sisi Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{9742,47 \text{ A}}{341 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1} 0,376$$

$$Tms = 0,759 \text{ detik}$$

Sisi Incoming 20 kV

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{9742,47 \text{ A}}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} 0,202$$

$$Tms = 0,854 \text{ detik}$$

Untuk lokasi gangguan pada jarak 75% panjang penyulang, adalah :

Sisi Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{8309,56 \text{ A}}{341 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1} 0,376$$

Tms = 0,798 detik

Sisi Incoming 20 kV

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{8309,56 \text{ A}}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} 0,202$$

Tms = 0,946 detik

Untuk lokasi gangguan pada jarak 100% panjang penyulang, adalah :

Sisi Penyulang 20 kV

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{7090,69 \text{ A}}{341 \text{ A}}\right)^{0,02} - 1} 0,376$$

Tms = 0,841 detik

Sisi Incoming 20 kV

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{fault}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} Tms$$

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{7090,69 \text{ A}}{1905,2}\right)^{0,02} - 1} 0,202$$

Tms = 1,061 detik

4.2. Perbandingan Data Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapang (berdasarkan data GI Teluk Lembu).

Tabel 4.10 Perbandingan Data Hasil Perhitungan Dengan Data di Lapang

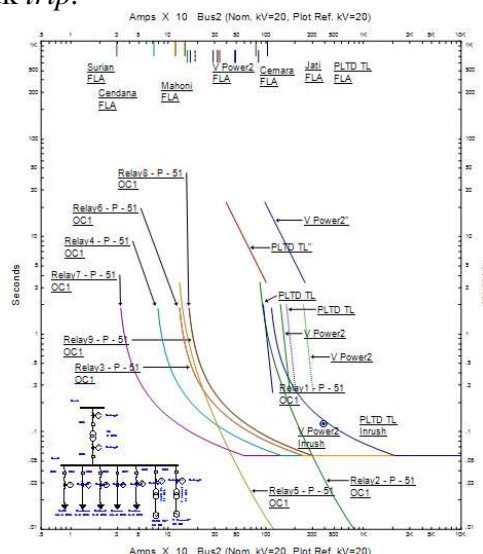
No.	Relay Arus Lebih (OCR)	Data Hasil Perhitungan
1.	OCR (sisi Incoming)	TMS = 0,37 s Rastio CT = 2000/5 t = 0,7s
2.	OCR (sisi penyulang)	TMS = 0,20 s Rastio CT = 400/5 t = 0,6s

Dapat disimpulkan dari tabel 4.10 perbandingan data hasil perhitungan dengan data dilapangan (data setting OCR GI Teluk Lembu Pekanbaru), bahwa hasil perhitungan dengan data yang ada dilapangan masih dalam kondisi yang sesuai (perbedaannya tidak terlalu jauh), sehingga dapat ditarik kesimpulan secara umum bahwa keseluruhan penyetelan Relai Arus Lebih (OCR) sudah baik. Karena hasil perhitungan tersebut untuk diset-kan ke penyetelan Relai OCR maka harus disesuaikan pada relai yang dipakai. Sehingga hasilnya

Untuk *Setting* relai OCR disisi penyulang memiliki nilai yang hampir mendekati sama, dimana TMS untuk OCR adalah 0,20s di perhitungan dan dilapangan (GI Teluk Lembu) untuk OCR adalah 0,12s. kembali pada data di GI Teluk Lembu untuk nilai *setting* dari sisi Incoming dan sisi Penyulang sudah bisa dikatakan bagus, dengan nilai *setting* TMS 0,23s sisi Incoming dan TMS 0,12s sisi Penyulang.

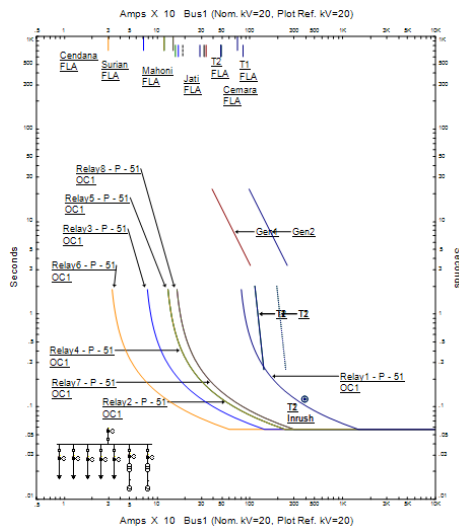
Setelah memperhatikan dan menganalisa kurva koordinasi pada kondisi *Existing* dapat diketahui beberapa kondisi *Existing* koordinasi *setting* relai *Incoming* atau *Relay 1* dan penyulang – penyulangnya terlihat pada kurva koordinasi kurang sempurna. Terutama pada pengaturan arus *pickup* dan pengaturan waktu relai *Incoming* atau *Relay 1* yang terlalu jauh waktunya. Untuk karakteristik relai yaitu *Standart inverse* disisi *Incoming* maupun disisi penyulang – penyulang. Maka dapat disimpulkan bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa disisi penyulang, relai disisi

Dengan menganalisa kurva OCR untuk gangguan 3 fasa dan 2 fasa pada kondisi *Existing* dapat diketahui beberapa kondisi *existing* koordinasi *setting* relai untuk sisi *incoming* pada *Relay 1* belum bekerja dan koordinasi dengan baik terhadap penyulang – penyulangnya. Hal ini terlihat lama waktu (tms) yang dibutuhkan *Relay 1* untuk *trip*.



4.3. Kurva kondisi *Existing* untuk gangguan 3 fasa dan 2 fasa pada Penyulang Transformator_1

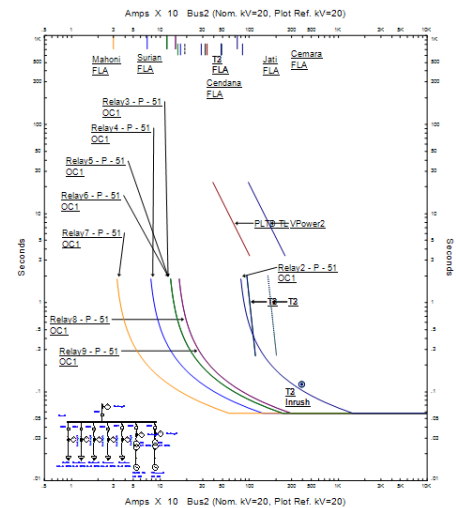
Dengan menganalisa kurva OCR untuk gangguan 3 fasa dan 2 fasa pada kondisi *existing* dapat diketahui beberapa kondisi *existing* koordinasi *setting* untuk sisi penyulang pada *Relay2*, *relay3*, *relay4*, *relay5*, dan *relay6* bekerja dan berkoordinasi dengan baik.



4.4. Kurva kondisi *Resetting* relai *Incoming* dan *Penyulang* pada Transformator_1

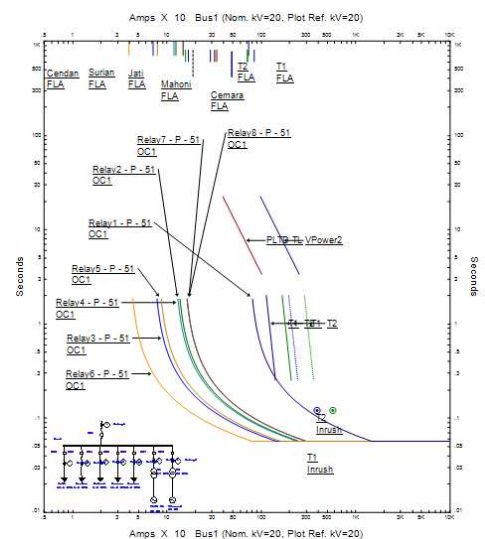
Dengan menganalisa kurva koordinasi pada kondisi *resetting* dapat diketahui beberapa kondisi *resetting* koordinasi *setting* relai *incoming* pada *relai1* dan penyulang – penyulangnya atau *relay2*, *relay3*, *relay4*, *relay5* dan *relay6* seperti terlihat pada koordinasi pengaman telah sempurna.

Terutama pada arus *pickup* dan pengaturan waktu kerja di relai *incoming* atau *relai1*. Dengan memasukkan parameter berupa hasil perhitungan baik *setting* arus *pickup* maupun *setting* waktu kerja.



4.5. Kurva kondisi *Resetting* untuk gangguan 3 fasa dan 2 fasa pada *Incoming* Transformator_1

Dengan menganalisa kurva OCR untuk gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa pada kondisi *resetting* dapat diketahui beberapa kondisi *resetting* koordinasi *setting* relai untuk sisi *incoming* pada *relai1* bekerja dan berkoordinasi dengan baik terhadap penyulang – penyulangnya. Hal ini terlihat pada perubahan waktu yang diperlukan *relai1* untuk *trip* dan bekerja dengan cepat.



4.6. Kurva kondisi *Resetting* untuk gangguan 3 fasa dan 2 fasa pada *Penyulang* Transformator_1

Dengan menganalisa kurva OCR untuk gangguan hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa pada kondisi *resetting* dapat diketahui beberapa kondisi *resetting*

koordinasi *setting* relai untuk sisi penyulang pada *relay2*, *relay3*, *relay4*, *relay5* dan *relay6* bekerja dan berkoordinasi dengan baik. Jadi untuk gangguan dipenyulang tidak ada masalah yang berarti hanya masalah teknis seperti pergantian relai agar *range* arus *pickup* dan *setting* waktu kerja besar dapat dipertimbangan oleh perusahaan. Untuk gangguan *incoming* didapatkan kurva koordinasi yang baik setelah di *resetting* dimana setelah di *resetting* didapatkan *relai1* untuk *trip* dan bekerja dengan cepat dibandingkan sebelumnya.

5.1. Kesimpulan

- a. Besar arus gangguan 3 fasa, pada 0% = 13861, pada 25% = 11594,4, pada 50% = 9742,56, pada 75% = 8309,56, pada 100% = 7090,69.

Besar arus gangguan 2 fasa, pada 0% = 12004, pada 25% = 10041,11, pada 50% = 9543,91, pada 75% = 7196,30, pada 100% = 6235,32.

- b. Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat di pengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin jauh jarak titik gangguan maka semakin kecil arus gangguan hubung singkatnya dan begitu juga sebaliknya.
- c. Penyetelan relai arus lebih (OCR) yang didapat dari hasil perhitungan :
OCR sisi Incoming 20 Kv OCR sisi Penyulang 20 kV

$I_{\text{set primer}}$	= 1905,2 A
$I_{\text{set primer}}$	= 341 A
$I_{\text{set sekunder}}$	= 5 A
$I_{\text{set sekunder}}$	= 6 A
Tms	= 0,202 s
Tms	= 0,376 s

- d. Waktu kerja relai OCR di penyulang lebih cepat dibandingkan dengan waktu kerja di incoming dengan selisih waktu (*grading time*) rata-rata sebesar $\pm 0,2$. Hal ini disebabkan jarak lokasi gangguan mempengaruhi besar kecilnya selisih waktu (*grading time*). Semakin jauh jarak lokasi/titik gangguan, maka semakin besar selisih waktu kerja relai di incoming 20 kV.
- e. Hasil perhitungan dengan data yang ada dilapangan masih dalam kondisi yang sesuai (perbedaannya tidak terlalu jauh), sehingga dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan Penyetelan (*setting*) Relai Arus Lebih (OCR) yang ada dilapangan dalam kondisi baik.

5.2. Saran

Setelah melakukan pengumpulan, mengolah dan menganalisa data, maka penulis menyarankan :
Untuk mempermudah dan meningkatkan keakuratan perhitungan nilai *setting* rele sebaiknya PT.PLN (Persero) dapat membuat software sebagai patokan dan media perhitungan nilai yang akan diterapkan pada rele – rele proteksi Relai Arus Lebih (OCR) dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Dezaki, H.H., H.A. Abyaneh, A. Agheli, dan K. Mazlumi. 2012. Optimized Switch Allocation to Improve The Restoration Energy in Distribution Systems. *Journal of Electrical Engineering* 63(1) : 47-52.
- Tirza Nova, Syahrial, Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator , Institut Teknologi Nasional Bandung, Januari 2013
- Zulkarnaini, Eko Saputra H. Evaluasi Koordinasi Relay Proteksi Pada Feeder Distribusi Tenaga Listrik (Gh Tanjung Ampalu Sijunjung), program studi teknik elektro fakultas teknologi industri teknologi padang *Jurnal Teknik Elektro ITP*, Volume. 1, No. 1; Januari 2012
- Yaman Dan Cut Sukmayati, 2013. Pengujian Setting Relay Arus Lebih Woodward Xi1-I Di Laboratorium Proteksi Dan Distribusi Jurusan Teknik Elektro
- Samaulah, Hazairin. 2004. Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik. Unsri.
- Sarimun, Wahyudi. Ir. 2011. Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Garamond : Jakarta
- Abrar tanjung , 2014. Rekonfigurasi sistem distribusi 20 kv Gardu Induk Teluk Lembu Dan Pltmg Langgam Power Untuk Mengurangi Rugi Daya Dan Drop Tegangan, Jurusan Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning.
- Zulkarnaini, Eko Saputra H, 2012. Evaluasi Koordinasi Relay Proteksi Pada Feeder Distribusi Tenaga Listrik, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Teknologi Padang
- Ade Wahyu Hidayat, Herri Gusmedi, Lukmanul Hakim, Dikpride Despa, 2013. Analisa *Setting* Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Topan Gardu Induk Teluk Betung, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.